DOI:10.16569/j.cnki.cn11-3720/t.2006.02.031

黄钟、累黍与中国古代度量衡标准

□丘光明

中国古代度量衡单位及其标准的创立，自夏商周三代到秦汉，经过了从直观感知、假借器物测量到创造出专用度量衡器物的过程。最初，人们在生产和生活的实践中，依靠自身的眼睛、手、脚等器官，判别客观事物的数和量。从用眼睛论件估堆，目测长短、多少、大小、远近，逐渐发展到用人体的某一部位和外界进行比较。古书记载，“布指知寸，布手知尺、舒肘知寻”，“妇手为咫，人长为丈”，“举足为跬，倍跬为步，两手之盛谓之掬”，“迈步定亩，手捧为升”等，都是对上述现象的反映。在我国小篆字体中，(尺)、(寸)、(掬)都还保留这种痕迹。也有用丝毛为长度的分数小单位，如古书记载，“十发为程，十程为分”，“十马尾为一分”，“蚕所吐丝为忽”。进而，假借生产工具和生活用具，经过广泛使用，公认为专用的度量衡器具。龙山文化时期，就有“豆”这种陶器，人们用来盛酒盛肉。《考工记》记：“食一豆肉，饮一豆酒，中人之食也”。由于它的盛量相当于一个人的食量，后来“豆”这个器皿就变成了一个专用的量器。进而，“豆”就变成一单位量的名称了。釿(斤)是砍木头用的斧子，人们常以它的重量和其他物品作比较，最早的金属货币也做成釿币，“斤”就逐渐固定为一个单位量。在这些测量方法经过大量的使用实践的基础上，出现了各种专用的度量衡器具，尺子、升斗、天平、砝码、杆秤等，它们可以粗略地测量出长度、容量、重量的单位量。为了保证众多的器具所给出的单位量值准确一致，要从中挑选出比较精致的作为标准，由国家专门监制度量衡标准器，制定度量衡单位系列表，并赋予法律规定。但是这些标准器具在使用中会遭到破坏和人为的单位量值增减，在逐级检定中，会产生传递误差，一旦标准器损坏或失传，就会造成度量衡单位制的混乱。所以古人较早地认识到并利用物理性能比较恒定的自然物或自然现象作为度量衡单位量标准。如“黄金方寸，而重一斤”，“权水轻重，水一升，冬重十三两”，“黄钟律管，长九寸，孔径三分，围九分，一龠容一千二百黍，重半两”。以上三组关系式中是以黄金和水的密度、黍的容重给出长度和重量两个单位量(容量是长度的导出量)，这里，规定条件下的黄金、水的密度和黍的容重是常量(或统计出它的平均值)，度量衡三个量互为变量，其中一个量的单位量值发生变化，其他两个也相应变化。然而，在汉代，黄钟律管的长度只能有一个标准，这就是九寸(合今20.79厘米，一尺合23.1厘米)，不可能有其他的标准。因此，“以黄钟乐律为理论基础、律管为实物根据，再加累黍参校验证”的方法，形成了2000多年来确定度量衡单位标准之传统正法。

乐律学与黄钟律

我国石器时代的先民，在狩猎活动中，能够辨别鸟兽鸣叫的声音，进而发明了一种拟声工具诱捕鸟兽。浙江余姚河姆渡遗址(公元前5000年)发现了上百支用鸟禽肢骨做成的骨笛，其中有两支两端开口，一支在中部有两个椭圆形的开孔，一支在两端各有一孔，可以吹出各种仿鸟兽的鸣叫声。在河南舞阳县贾湖村发现了公元前5000~6000年期间的7孔骨笛，全长22.2厘米，类似现今的洞箫(如图1所示)。西安半坡、山西、河南、甘肃等新石器时代遗址和安阳小屯殷墓，分别出土有一孔、二孔、三孔、五孔的陶埙，它们也是诱捕鸟兽的拟声工具，也许兼作玩具或乐器之用。

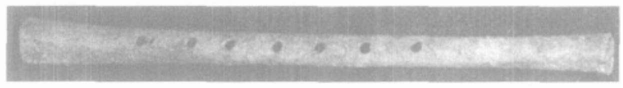


图1　河南舞阳县贾湖村发掘的公元前60世纪的骨笛

声学是研究一切声音现象的科学。声与音，在古人看来是有区别的。司马迁《史记·乐书》、许慎《说文解字》、宋代陈旸《乐书》等著作中，对于“声”和“音”的区分作了精辟的表述：由于物体的运动(确切地说应该是“振动”)，或者人们为了表达某种情感、思想而发出的都是声；在这些声中，凡舒疾快慢、高低变化、强度大小有一定规律和节奏，彼此有一定数理关系的，才是音，或叫乐音。因此，中国古代把“从数学上确定乐音音高、音程关系和音阶结构”的称之为乐律学，简称律学。律学是古代声学的一个重要分支学科。我国的乐律学的发展有悠久的历史。现代音律学家对西安半坡和山西、河南、甘肃等新石器时代遗址和安阳小屯殷墓出土的陶埙，用音叉和闪光测音计测。测定结果表明：新石器时代的陶埙，可发出二个音、

本期栏目主持人：关增建

Email:chinajlbjb@sina.com

三个音、四个音，可构成四声音列，甚至五声音列，和现在的五声音阶基本相同；商代陶埙已具有五声二变的完整的七声音阶。这一事实证明，中国人在公元前13世纪至前12世纪已建立了七声音阶。先秦时期专门律学著作《吕氏春秋·仲夏纪·适音篇》载："昔黄帝令伶伦作律。伶伦自大夏之西，乃之阮隃之阴，取竹于嶰谿之谷，以生空窍厚均者，断两节间，其长三寸九分，而吹之以为黄钟之宫。吹曰舍少。次制十二筒。以之阮隃之下，听凤凰之鸣，以别十二律。其雄鸣为六，雌鸣亦六，以比黄钟之宫适合。"由此记述看来，原始社会末期，模仿鸟禽鸣叫制作乐器、确定乐律的音高的说法，完全是事实。因为河姆渡骨笛与半坡遗址的陶埙，当初都是模仿鸟鸣的狩猎用器，就是这一传说的物证。至于"当初已用竹做律管，以分辨出十二律，并把十二律之首的宫音定名为黄钟"的推断，还是无法证实的。

成书于春秋末的《管子·地员》篇中记载了古人在音乐实践中创造的管弦乐三分损益法，以此确定弦的长度和发音高低之间的关系。又经对铸造于公元前572~前542年间的侯马编钟测量，发现该钟是以基音g1（403.48Hz）为标准成六声音阶，而六声中前五声，正好是《管子·地员》记载的"徵（zhi）、羽、宫、商、角"五声，接近五声相生律。由此证明，五度相生律和三分损益计算法这一科学成果在公元前7世纪产生,公元前6世纪中已完全成熟。在使用三分损益法之前，先需要有半音的概念及其相应的十二律名称，据考我国西周时已有十二律名称，即：黄钟、大吕、太簇、夹钟、姑洗、仲吕、蕤（rui）宾、林钟、夷则、南吕、无射（yi）、应钟。相当于西乐中：C、C#、D、D#、E、E#、F、G、G#、A、A#、B各音律。黄钟是十二律之首为宫音，发音（频率）最低，振动体（弦或管）最长。十二律和五音阶、七音阶中诸音可以在音乐规律下随意搭配，既可以用黄钟为宫，也可以用大吕或太簇等任何一律为宫，形成各种不同调式。汉代《淮南子·天文训》说："一律生五音、十二律而为六十调"。弦（或管）的长度三分损益法，就是从一个被认定为基音的弦（或管）的长度出发，把它三等分，减去其中的一分（即弦长等于基弦的2／3长度，如黄钟律管长20.79厘米，三分而去其一，即为林钟的管长13.86厘米），可得到约比基音弦高一倍的音。增加一分（即弦长等于基弦的4／3长度，如林钟律管长，三分而益之以一，即为太簇的管长18.48厘米），可得到约比基音弦低一倍的音。但这种计算方法，只能得到约高低一倍的音，而不可能刚好一倍的音。其中还存在一个差数。历代音律学研究者为了取消这一差数采取许多方法，都未完全成功。明代律历学家朱载堉（公元1536~1611年），总结了我国2000年在律学研究中的得失。经过精密计算和科学实验，用等比级数平均划分音律，他还找到了异径管律的规律，使音高上误差很小，称为"新法密律"，与近代乐器上通用的"十二等程律"相同。十二个律中相邻两律间的频率差都是相等的，好比现代钢琴的一个音阶中的十二个键，相当于十二个律，每相邻两键间的频程（频率距离或频率差）都是相等的。朱载堉研究发明的"十二平均律"当时在世界上处于领先地位。

在中国文化史上，特别强调乐律的起始音黄钟宫，把它看作国家大乐的大器，国家兴亡的象征。古代乐律学家还认为，黄钟是中和之音，称它为雅学，是宫廷音乐中的主旋律。历朝历代王家音乐机构都由"大司乐"、"大师"、"太常卿"、"太常博士"、"协律都尉"等高官担任乐官之长。大凡本朝遇到乐律重大问题或有根本性改革动议，则集众部门主管官员共议学律制度损益得失。有的君主亲自听太乐演奏，审定黄钟律的音高和律尺的长度。

黄钟律管与长度标准

中国古代最早是用弦的长度还是用管的长度来计算黄钟律，专家们所持看法不同。先秦时都以古琴上弦的长度定音位，战国时编钟所发音阶各音的高低关系也是符合于弦律的。但是弦易受大气湿度的影响，张力改变，音调不稳定，必须要经常校音，没有定音器，弦很难被调准，所以，有绝对音高的管律是必须要有的。汉代文献中对律管有明确的记载：十二律管的制作"其法皆用铜"，黄钟律管长九寸、径三分、围九分、容八百一十立方分。一端为吹口，中间无音孔，另一端为闭口。黄钟管最长，管径也最大，发音最低。以黄钟管长、管径为起始，按三分损益计算出其余十一支律管的管长、管径和相应的频率数。黄钟律管的形制见诸文献以后，历代乐律家们对有关数据和计算方法深入探索，注解诠释，同时也产生不少歧义。20世纪30年代起，乐律学家、科技史学家、文物和博物学专家对《汉书·律历志》中厘定的黄钟律管的诸参数做了定量计算，他们的计算原则如下：

1.黄钟律管的长度，应为九寸，汉尺一尺长合今23.1厘米，律管长为20.79厘米。

2.各律的管长和管径都应按三分损益法计算得出。

3.关于管径计算。认为原来的"径三分、围九分"的说法是不精确的，管径现可以按下列算式计算：

$$d=2\times\sqrt{\frac{810}{\pi\times90}}=3.385\text{分}。0.3385\times2.31=0.782\text{厘米}。$$

4. 管的容积为810立方分：$810\times(0.231)^3=9.984$立方厘米。

5.闭口管频率公式是：$f=\frac{34000(s)}{4(L+5/3d)}$

Email:chinametrology@263.net

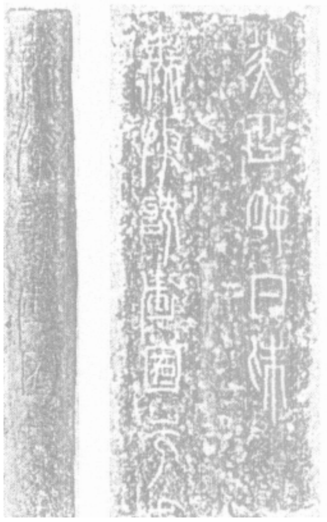


图2 新莽无射律管和铭文

黄钟律管的频率：

$$f=\frac{34000(s)}{4(20.79+5/3\times0.782)}$$

通过以上辨析，对黄钟律管作为长度标准，比较容易理解了。

迄今所见古代律管有江陵雨台山21号战国楚墓出土的竹律，它是以刮去表皮的无节、异径细竹管组成，残损严重；另有长沙马王堆一号汉墓发掘的一套竹质律管，十二支律管插于绣花袋内。最长的一支17.65厘米，最短的一支10.2厘米，孔径约0.65厘米。但其内径杂乱无章，管长不遵循三分损益律，管内径也无任何校正之迹象，显然，这套律管是非实用的明器。上海博物馆藏有存世唯一的一支新莽无射律管（如图2所示，管长已残损）。该馆文物专家对无射律管做了精密测量，测得管径为0.5771厘米（相当于二分五厘）；对《汉书·律历志》颜师古注引孟康'十二律管长孔径改变原则'及给出的长围数据进行验算；将十二律按科学方法求出的管径，同按孟康原则求出的管径作比较，求出各律相应的频率；还精确地计算了音分值（相邻两音距离的单位）及音分值差。他们的研究表明：孟康的计算是合乎科学原则的，依照其管长管径变化原则所得十二律频率，同三分损益律的应有频率是基本一致的，其音分值差都在小数点以下。说明汉代刘歆、孟康等乐律学家们，对乐律学原理造诣很深，数学计算水平相当高。该馆还模拟试制了三支律管，请精于吹管笛的专业工作者试吹，使理论应用于实际，再作校正。在比较透彻地了解了十二律律管的声学原理、制作方法和使用要领后，制作了一套复原的黄钟十二律管。并由文物专家马承源、潘建明先生执笔，发表了《新莽无射律管对黄钟十二律研究的启示》（《上海博物馆馆刊》第一辑，上海人民出版社，1981年）。文章对各管的长度、孔径和频率等彼此相联系的乐理因素，用数学语言精确地演绎出来，展示了我国在公元前一世纪先贤们成功地应用律管三分损益法计算产生出十二律的科学成果，而且阐明了当时律历家们为什么提出"度者，本起（于）黄钟之长"，把黄钟的管长单位值，作为长度量的标准，这是因为他们认识到黄钟是以绝对音高定长度，律管的质地是青铜，温差对它的影响较小，所以把黄钟律管用作长度标准器，比之用其他方法定长度标准准确可靠得多。在科学进步的今天看来，采用音频原理定长度标准，在当时的历史条件下是十分先进的。

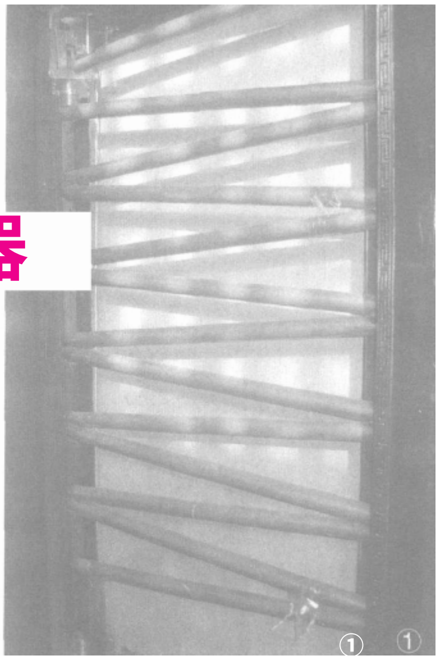
黄钟、累黍与度量衡标准

西汉末年，王莽把持朝政，为了实现其政治图谋，他以复古改制为名，征集通晓天文、数学、乐律学的学者百余人，在著名律历学家刘歆的主持下，系统考证前代度量衡器制，研讨了建立度量衡体系的内容：一、度量衡单位量标准；二、度量衡单位系列名称和进位制；三、度量衡标准器的形制和制造；四、度量衡的行政管理。特别是创造性地提出以黄钟律管作为长度标准。经过总结归纳，整理成审度、嘉量、权衡各篇专论，后以刘歆的'典领条奏'为名收入《汉书·律历志》。该'典领条奏'明确规定：度量衡以黄钟为标准，藉以累黍定出尺度、容量、权衡的单位量值。其表述为："度者，……本起（于）黄钟之长，以子谷秬黍中者，一黍之广度之，九十分黄钟之长"；"量者，……本起（于）黄钟之龠，用度数审其容，以子谷秬黍中者，千有二百实其龠。"；"权者，本起（于）黄钟之重，一龠容千二百黍，重十二铢。"。从这三个定义看，度量衡三个单位量中，长度是用90颗大小中等的黍纵向排列所得长度和黄钟律管的长度（已知为九寸）相校对，两者相合，就将1颗黍的宽度称为1分，10颗黍纵排的宽度称为1寸，100颗黍纵排的宽度称为1尺。容量的单位量是黄钟律管的容积，即810立方分为1龠，并用1200颗大小中等的黍'实其龠'进行校量。在此可以看出，长度和容量两个单位量，都是建立在黄钟律的绝对音高定长度原理的基础上而产生（确定）的，是准确可靠的。而累黍法对于长度和容量单位量只起校量比对的旁证作用，或者是形象地描述黄钟律管长多少的一种方法。至于'权者，本起（于）黄钟之重'这一定义是牵强附会的，黄钟律或黄钟律管不可能会有重量标准，只好利用黍的容重或千粒重作单位重量标准。"黍"是一种古老的粮食作物，我国在4000多年前已有栽培，它具有很强的抗旱能力，因而适宜在我国西北、华北各地种植，成熟的籽粒饱满、坚硬。同一品种的黍用统计法可求得比较恒定的千粒重或单位容重。刘歆等所定1龠容1200粒黍，重12铢（半两）的条件，当时或许能做到，但随着时间推移，黍的品种很多，时有水旱之差，地有肥瘠之异，岁有丰歉之收，对籽粒丰瘪，何谓'秬黍中者'也有不同的理解。后人想尽办法，寻觅选择适合的黍的品种，复现规定条件，但终未能如愿，黍粒大的1龠容不下1200颗，小的纵排90粒又不足九寸。屡屡失着后，便感慨道："是盖天物之生，理难均一，古之立法，存其大概尔。"

由于衡重单位量标准缺乏刚性指标，西汉以后，衡重单位量值严重失控。新莽、东汉衡重的单位量值比秦汉（约每斤合250克）下降5%~10%。新莽铜嘉量，堪称度量衡标准之瑰宝，自铭重二钧（60斤），现经实测器重折合每斤

Email:chinajlbjb@sina.com

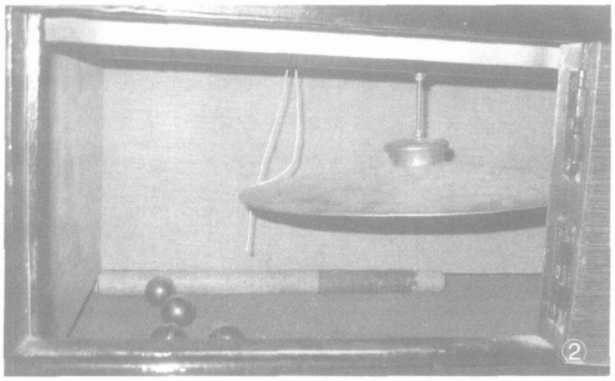
我国失传七百多年的计时仪器——碑漏仿制成功



□毛时前

据南宋薛继宣《浪语集》〔成书于宝庆二年（公元1226年）〕中记载，碑漏为唐代僧人文诰发明，应用于唐、宋、金、元时期，自元以后失传。《元史·齐履谦传》中有这样的记述：“至元二十九年（公元1292年）……都城刻漏，旧以木为之，其形如碑，故曰‘碑漏’，内设曲筒，铸铜为丸，自碑首转行而下，鸣铙以为节。”

北京市钟鼓楼文物保管所与苏州古代天文计时仪器研究所合作，根据历史文献资料，经近一年的反复研究试验，终于将碑漏这一失传近700年的中国古代的计时器具仿制成功，并安置在鼓楼上展示。专家和观众参观后盛赞我国古代劳动人民的聪明才智和高超的工艺技术水平。



在鼓楼的二层，我们看到碑漏的正面就像一座石碑，实为木制，碑高2.2米，宽1.4米，上刻介绍文字。碑体上端设有荷花状投球孔，通向碑内第一根铜管。碑漏内部是13根‘之’字形排列的铜管（如图①所示）。第一根铜管内，在机关控制下，储有若干金属球，只有触动机关，小球才能滚下。碑漏由许多小球在其余12根铜管内依次曲折滚下，在最后坠落时敲击铜铙（如图②所示）发出清脆响亮的声音报时。第一个球与第二个球之间的间隔时间为24秒，36个球为14.4分，为古代的一刻，3600个球次滚动完毕恰好是24小时。巧妙的是，当小球坠落时，不但敲响铜铙，还以其重力牵动第一节铜管前的开关机构，使第二个小球开始滚动下落。这样，除开始时第一个小球需人工控制外，其余的小球均为自行滚动下落，且时间间隔一致。但是，小球坠落后，需要将其再投入投球孔，因此需专人管理并记录。

作者单位【北京市东城区质量技术监督局】

226.7克，比当时对水和黄金密度测量折算值：黄金方寸而重一斤，每斤合236.6克；水一升冬重十三两，每斤合246克分别下降4%、8%。自东汉以后的三国两晋到唐、五代700多年间，历代权衡单位量值演变的资料很少，也未见到有学者做这方面的考校工作。与之相比，历代非常重视对尺度值的考校，因为它关系到乐律的兴衰，乐律家对乐律尺和常用尺都审音考校。西晋泰始九年（公元273年），中书监荀勗受晋武帝司马炎命考校太乐，发现八音不和，他判断是由于制造乐器的尺，自东汉至曹魏200多年间增大了四分多。于是他按照古尺度监造了“古尺”（后被称为“荀勗律尺”），发明了律管管口校准法，依‘古尺’重新铸造铜律管，以调声韵，以尺测量古乐器，“时人称其精密”。唯有散骑侍郎阮咸讥讽荀勗所造律尺长短不准，校考的乐律太高，“声高则悲，亡国之音”。晋武帝认为荀勗律尺与周汉的古尺、古律相合，批准行用荀勗律尺。继荀勗之后研究考校尺度的学者，有数学家、天文学家、律历学家祖冲之、刘徽、钱乐之、李淳风等人。唐初天文学家李淳风考察了刘歆铜斛尺、三国魏杜夔调律尺、祖冲之所传铜尺、所传东汉蔡邕铜龠尺、隋调钟律尺、梁表尺、钱乐之浑天仪尺、刘曜浑天仪土圭尺等15种古尺，一一记述了它们同荀勗律尺的长度比例，录入他撰写的《隋书·律历志》中。北宋期间，朝廷为求中和之声，差不多每一位帝王即位，都提出要校改大乐，认为大乐音律太高，不合古制，每次改乐都要求降律，相应地将乐尺改长，并开展音律高低和尺度长短的论争，同时研制几十种乐尺、乐斗、乐秤，参加研讨的乐律家、乐律主持官员、学者、重臣不下二三十人。这些都说明建立科学的、实用的度量衡标准是多么重要。

作者单位【原国家技术监督局管理研究所】